Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 919-939

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص.۹۳۹ -۹۱۹

مقاله پژوهشی

کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی (زانتان و کربوکسی متیل سلولز) در فرمولاسیون دونات با هدف کاهش جذب روغن

حسن صباغی[*1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

چکیده

کاربرد افزودنی‌ها به‌ویژه ترکیبات هیدروکلوئیدی در کاهش جذب روغن در دونات یک روش کاربردی است؛ زیرا نیاز به ایجاد تغییرات در طراحی صنعتی تجهیزات نمی‌باشد. بنابراین، در این پژوهش تاثیر صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز در خصوصیات کیفی دونات با هدف کاهش جذب روغن مطالعه شد. برای این منظور، در فرمولاسیون خمیر دونات از صمغ‌های زانتان، کربوکسی متیل سلولز و نسبت ترکیبی این دو صمغ (۵۰:۵۰) به میزان ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد براساس وزن ماده خشکِ خمیر استفاده شد. خمیر دونات آماده شد و قالب‌گیری انجام گرفت. تخمیر در شرایط مشابه صنعتی (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰ درصد) به مدت ۳۰ دقیقه صورت پذیرفت. سپس به ترتیب فرآیند سرخ‌کردن در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، قرار دادن آیسینگ و بسته‌بندی انجام شد. محتوی رطوبت خمیر و دونات، جذب روغن دونات، دانسیته، رنگ و نسبت تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین، خصوصیات کیفی ماندگاری شامل ارزیابی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و عدم رشد کپک طی ۱۴ روز بررسی گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد (p<۰/۰۵). نتایج نشان داد که، رطوبت نمونه‌ها با افزایش درصد ترکیبات هیدروکلوئیدی همواره افزایش یافت. جذب روغن با افزایش درصد صمغ کاهش یافت و کمترین محتوی روغن در نمونه‌های حاوی میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان مشاهده شد (محتوی روغن برابر با ۰/۱۷۴ گرم روغن بر گرم ماده خشک). برخلاف زانتان، با افزایش درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز دانسیته کاهش یافت و بیشترین دانسیته معادل با ۰/۶۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان مشاهده شد. بنابراین بیشترین تخلخل و نرمی بافت نیز در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز با توجه به افزایش حجم یافت شد. عدم جذب آیسینگ در نمونه‌های حاوی زانتان کمتر بود. رشد کپک در هیچ تیماری مشاهده نشد. در مجموع، بهترین نسبت افزودنی صمغ زانتان از نظر کاهش جذب روغن، کاربرد آن به میزان ۰/۵ درصد بود. زانتان به دلیل خصوصیات تشکیل ژل حرارتی و غلیظ شوندگی بیشترین کاهش جذب روغن را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: جذب روغن، دونات، سرخ‌کردن، زانتان، کربوکسی متیل سلولز.

مقدمه

یکی از مهمترین خصوصیات کیفی محصولات سرخ‌کردنی به‌ویژه دونات جذب روغن آن می‌باشد. امروزه با رشد آگاهی مصرف‌کنندگان تقاضا برای غذاهای سالم وکم‌چرب افزایش یافته است (Dueik *et al.*, 2010)؛ زیرا مصرف بیش از حد چربی منجر به افزایش کلسترول خون می‌شود و در نتیجه منجر به بیماری‌های متعددی مانند افزایش فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی و چاقی می‌گردد (Lee *et al.*, 2008). دونات‌ها در بسیاری از کشوها مورد توجه مصرف‌کنندگان هستند و با پوسته بیرونی ترد به رنگ قهوه‌ای-طلایی[2] و هسته کیک مانند شناخته می‌شوند (Nsabimana *et al.*, 2018). دونات‌های تجاری حاصل از آرد گندم به طور معمول حاوی ۲۴ تا ۲۶ درصد روغن هستند. دونات‌ها در دو نوع عمده وجود دارند: خمیرمایه[3] مخمری و خمیرمایه شیمیایی. دونات‌هایی با خمیرمایه شیمیایی به نام دونات کیکی[4] نیز شناخته می‌شوند. دونات‌های با خمیرمایه مخمری روغن بیشتری در مقایسه با دونات‌های خمیرمایه شیمیایی جذب می‌کنند، که علت آن سرخ‌شدن در مدت زمان طولانی‌تر می‌باشد. اگرچه لازم به ذکر است که روغن افزودنی نیز در خمیره دونات‌های شیمیایی وجود دارد (Shih *et al.*, 2001). ساده‌ترین و مناسب‌ترین روش برای کاهش جذب روغن در دونات استفاده از افزودنی‌ها است؛ زیرا نیازمند تغییرات در طراحی تجهیزات نمی‌باشد (Priya *et al.*, 1996).

استفاده از برخی ترکیبات هیدروکلوئیدی به‌عنوان افزودنی خشک، یک روش کاربردی مناسب برای کاهش جذب روغن و حفظ رطوبت

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(*-نویسنده مسئول: Email: hassansabbaghi@gmail.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87648
2 Golden-brown
3 Leavened
4 Cake doughnut

محصول در هنگام سرخ‌کردن به دلیل خصوصیات تشکیل ژل حرارتی[1] و غلیظ شوندگی[2] (ایجاد تراکم منظم ساختاری) می‌باشد (Funami *et al.*, 1999; Varela and Fiszman, 2011). حفظ رطوبت یا کنترل نحوه خروج آب از محصول روی مکانیسم‌های حرارتی نیز موثر است (Sabbaghi *et al.*, 2014). سازمان غذا و دارو ایالات متحده آمریکا در رابطه با صمغ‌ها، این ترکیبات را به‌عنوان افزودنی غذایی یا به‌طور کلی جزء ترکیبات شناخته شده ایمن[3] (GRAS) طبقه‌بندی کرده است. اگرچه معمولاً میزان مورد استفاده از این ترکیبات جهت دستیابی به خصوصیات مطلوب در سیستم‌های غذایی کمتر از ۲ درصد است (Rodge *et al.*, 2012). وقتی این ترکیبات به خمیر اضافه می‌شوند در اسرع وقت ژل تشکیل می‌دهند که ظرفیت بالایی را در احتباس آب در هنگام تماس با روغن داغ دارا است و این امر در حفظ و کنترل رطوبت خمیر و جلوگیری از نفوذ روغن موثر خواهد بود (Sahin *et al.*, 2005). کنترل خروج رطوبت از محصول موجب کاهش نرخ مهاجرت رطوبت و ترکیبات از ماده غذایی به داخل روغن سرخ‌کردنی می‌شود و واکنش‌های پراکسیداسیون بعدی در روغن مصرفی نیز کاهش می‌یابد، در نتیجه عمر مفید روغن افزایش خواهد یافت (Blumenthal, 1991; Dobarganes *et al.*, 2000; Blumenthal, 2001). هیدروکلوئیدها با کنترل جذب آب موجب بهبـود رئولوژی خمیر، بهبود زمان ماندگاری به واسطه حفظ محتوی رطوبت و به تـأخیر انداختن بیاتی در محصولات آردی با کاهش رتروگرداسیون نشاسته و جلوگیری از سفت‌شدن بافت داخلی می‌گردند (Kohajdová and Karovičová, 2009; Kohajdová *et al.*, 2009). ماندگاری محصولات غذایی از خصوصیات مهم تجاری محسوب می‌گردد. در تمام کشورها تقاضای بازار در حال تغییر است و همراه با این مسئله، نگرانی‌های عمومی خریداران، دولت‌ها و تولیدکنندگان در رابطه با ایمنی و سلامت خوراکی‌ها حین نگهداری افزایش یافته است. اگر یک محصول ماندگاری طولانی مدت داشته باشد نیاز کمتری به ارائه مکرر آن محصول به زنجیره خرده فروشی وجود دارد. زمان ماندگاری محصولات نانوایی به‌طورکلی توسط دو عامل اصلی فساد میکروبی و بیاتی محدود می‌شود. این محصولات پس از پخت عاری از کپک‌ها و باکتری‌های زنده هستند اما به دلیل داشتن رطوبت و pH مناسب محیط خوبی برای رشد کپک به‌شمار می‌روند. پس از پخت تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی در محصولات نانوایی اتفاق می‌افتد که منجر به بروز تغییرات در پوسته و بافت داخلی می‌شود که به آن بیاتی یا کهنگی می‌گویند. در طی فرایند بیاتی، ویژگی‌های کیفی محصول از قبیل بو، طعم، مزه و قابلیت جویدن محصول تغییر می‌نماید و مغز محصول سفت و جذب آب کاهش می‌یابد (Bennion and Bamford, 1997). Funami و همکاران (۱۹۹۹) کاهش جذب روغن طی سرخ‌کردن در دونات را با استفاده از کوردلان بررسی کردند. کوردلان پلیمیری خطی نامحلول در آب با وزن مولکولی بالا و تشکیل یافته از گلوکز است که با پیوند بتا-۱ به ۳-گلوکان ایجاد شده است. این ترکیب به نسبت صفر تا یک درصد وزنی-وزنی افزوده شد و تاثیر آن با مشتقات سلولز مقایسه گردید. نتایج نشان داد که اثر کوردلان در کاهش جذب روغن نسبت به مشتقات سلولز بیشتر است که این امر به دلیل خصوصیات ژلی‌شدن حرارتی (ایجاد ژل پایدار حتی در شرایط حرارت‌دهی شدید) آن است که به عنوان مانع رطوبت و روغن عمل می‌نماید و ژل کوردلان در دونات می‌تواند اثر پلاستیسیته مشابه چرب‌مایه[4] داشته باشد. Shih و همکاران (۲۰۰۱) دونات با روغن کم با استفاده از فرمولاسیون توسعه دادند. جایگزینی آرد گندم با آرد برنج مومی[5] یا دانه بلند (به عبارتی آرد برنج صدمه‌ندیده) موجب کاهش مقاومت خمیر و محتوی رطوبت و افزایش جذب روغن و سفتی شد. جایگزینی با آرد برنج دانه بلند ژلاتینه‌شده (پیش پخته‌شده) یا نشاسته برنج استیله‌شده (به عبارتی آرد یا نشاسته اصلاح‌شده) موجب مقاومت خمیر، رطوبت و سفتی بیشتر و جذب روغن کمتر شد. دونات‌های فرموله‌شده با آرد گندم و ۵۰ درصد آرد برنج ژلاتینه‌شده در مقایسه با دونات‌های گندم از نظر خصوصیات کلی برابری داشتند اما تا حد ۶۴ درصد جذب روغن کمتری نشان دادند. اثر کاهش روغن آرد یا نشاسته اصلاح‌شده به این واقعیت ارتباط دارد که این افزودنی‌ها دارای ظرفیت نگهداری آب بالایی می‌باشند و به آب اضافی جهت حفظ مقاومت خمیر و سفتی در دونات مورد نیاز است. آب اضافی مورد استفاده موجب محتوی رطوبت بیشتر و جذب روغن کمتر خواهد شد.

Sakhale و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر هیدروکلوئیدهایی مانند کربوکسی متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، صمغ زانتان و صمغ گوار را روی کاهش جذب روغن سنبوسه[6] بررسی کردند. این هیدروکلوئیدها به آرد گندم در سنبوسه به نسبت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد برحسب وزن خشک اضافه شدند و آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی نیز انجام شد. نتایج نشان داد که صمغ زانتان در میزان ۱/۵ درصد به میزان قابل توجهی نسبت به سایر هیدروکلوئیدها محتوی روغن را کاهش می‌دهد (۸/۵۶ درصد). همچنین صمغ زانتان به همراه کربوکسی متیل سلولز نیز به طور معنی‌داری جذب روغن را کاهش داد (۹/۳۸ درصد). با افزایش میزان هیدروکلوئیدها نیز جذب روغن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. حضور صمغ زانتان موجب بهبود خصوصیات کیفی و ارزیابی حسی نیز شد.

1 Thermal gelling
2 Thickening
3 Generally recognized as safe

۴ Shortening
۵ Waxy rice flour
۶ Samosa

Lim و همکاران (۲۰۱۲) از پلی‌گاماگلوتامیک اسید[1] جهت کاهش جذب روغن در دونات استفاده کردند. پلی‌گاماگلوتامیک اسید یک ترکیب آنیونی منحصر به فرد و بیوپلیمر خوراکی فاقد مزه است که از واحدهای D- و L- گلوتامیک اسید تشکیل شده است. برخلاف پروتئین‌ها، این ترکیب دارای پیوندهای آمیدی میان آلفا-آمینو و گاماکربوکسیلیک اسید است. خواص اتصال آبی عالی و فعالیت بیولوژیکی این ترکیب در کاهش جذب روغن در محصولات سرخ‌شده قابل بررسی است. از نظر بهبود خصوصیات سلامت نیز حضور این ترکیب در سیستم‌های غذایی موجب بهبود جذب کلسیم و بهبود پاسخ‌های سیستم ایمنی بدن خواهد شد. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش میزان پلی‌گاماگلوتامیک اسید از ۰/۲۵ تا ۱ گرم به ازای ۱۰۰ گرم خمیر؛ جذب روغن در محصول تا پنج برابر کاهش یافت. تصاویر میکروسکوپی تهیه شده از دونات‌های حاوی ۱ گرم گاماگلوتامیک اسید حفرات کمتر و ماتریکس متراکم‌تری را نشان داد و تمامیت ساختاری آن بهبود یافته بود و همچنین نتایج ارزیابی حسی مطلوبی نیز نشان داد.

Melito و Farkas (۲۰۱۳) جذب روغن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات فاقد گلوتن را با دونات معمولی مقایسه نمودند. نتایج نشان داد محتوی چربی در اغلب دونات‌های فاقد گلوتن (۳۲/۲-۲۶/۳ درصد) نسبت به دونات گندم (۳۳/۷ درصد) به میزان معنی‌داری کمتر است. اگرچه هیچ یک از فرمولاسیون‌های فاقد گلوتن پذیرش حسی مشابه دونات گندم را نشان ندادند. نسبت بالاتر آرد تجاری فاقد گلوتن به آرد برنج (نسبت ۳ به ۱) در مقایسه با نسبت پایین‌تر (نسبت ۱ به ۱) موجب محتوی چربی بالاتر و خصوصیات مکانیکی نزدیک‌تر به دونات گندم شد.

Dueik و همکاران (۲۰۱۴) توسعه ماتریکس‌های نشاسته‌ای و گلوتنی سرخ‌شده کم چرب با محتوی فیبر بالا را انجام دادند. این ماتریکس شامل گلوتن و نشاسته گندم بود و نشاسته به تدریج با سبوس گندم جایگزین گردید و عدم تشکیل ساختار نیز با جایگزینی تدریجی نشاسته با نشاسته ذرت پیش‌ژلاتینه‌شده برطرف شد. نمونه‌ها در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. نتایج نشان داد که امکان تشکیل ساختار مناسب و کافی در خمیر احاطه شده با نشاسته- گلوتن با محتوی سبوس گندم بالا طی سرخ‌کردن از طریق افزودن نشاسته ذرت پیش‌ژلاتینه‌شده وجود دارد و ۳۵ درصد جذب روغن کمتر در مقایسه با نمونه شاهد (خمیر احاطه شده با نشاسته- گلوتن) حتی زمانی که سبوس گندم در ماتریکس زیاد شود؛ وجود خواهد داشت. همچنین امکان تولید محصول کم چرب با محتوی فیبر بالا با استفاده از مرحله سانتریفیوژ (استفاده از نیروی گریز از مرکز پس از سرخ‌کردن با هدف حذف روغن سطحی) پس از سرخ‌کردن وجود خواهد داشت که این امر تائید کننده اهمیت جذب روغن در مرحله سردکردن و طبیعت سطحی پدیده جذب روغن است. این مطالعه نشان داد که خصوصیات ساختاری محصول ممکن است کاربرد مناسبی با ایجاد بلاک‌های ساختمانی در غذا (در اینجا نشاسته ذرت پیش ژلاتینه‌شده) در یک سیستم در هم گسیخته غذایی (خمیر با محتوی فیبر بالا) با تاثیر بر پدیده‌های انتقال جرم داشته باشد و موجب تولید محصولی مطابق با سلامت روز گردد.

Kwinda و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر سبوس جو دوسر و فیبر غلاف بارهنگ کتانی[2] روی کاهش روغن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماگواینیا[3] (خمیر سرخ‌شده بر پایه غلات) را بررسی نمودند. دو روش سنتی و اصلاح‌شده فرآوری این محصول با هم مقایسه شدند. استفاده از این افزودنی‌ها میزان جذب روغن را در روش اصلاح‌شده نسبت به روش سنتی به طور معنی‌داری کاهش داد. سبوس جو دوسر و فیبر غلاف بارهنگ کتانی به‌ترتیب ۳ و ۲ درصد خصوصیات بافتی را بهبود بخشیدند.

Kante-Traore و همکاران (۲۰۱۸) دو فرمولاسیون مختلف دونات مانگو و روش فرآوری را بررسی نمودند. فرمولاسیون پالپ مانگو در ترکیب با آرد رنج و ذرت بررسی شد. هر دو فرمولاسیون با دو روش خمیر غوطه‌ور در روغن[4] و خمیر روی صفحه داغ[5] تحت شرایط کنترل‌شده فرآوری شدند. نتایج نشان داد که محتوی رطوبت دونات‌های مانگو با استفاده از سرخ‌کن عمیق که شامل ذرت یا آرد برنج بودند به میزان معنی‌داری کمتر از فرمولاسیون‌های یکسان با استفاده از کریپ میکر بود. بالاترین محتوی چربی برای دونات حاوی آرد برنج و آرد ذرت به‌ترتیب برابر با ۲۵/۳۴ و ۲۹/۷۸ درصد بود. محتوی بتا-کاروتن دونات‌های فرآوری شده با روش خمیر روی صفحه داغ به‌طور معنی‌داری بالاتر از دونات‌های سرخ‌شده با روش غوطه‌وری در روغن بود.

پژوهش‌های انجام‌شده کمتر به محصولات صنعتی و تجاری‌شده با یک فرمولاسیون بومی پرداختند. بنابراین در این پژوهش کاربرد هیدروکلوئیدهای زانتان و کربوکسی متیل سلولز به صورت مجزا و ترکیبی در کاهش جذب روغن دونات به نحوی که از نظر اقتصادی در صنعت قابل اجرا باشد، امکان‌سنجی گردید. همچنین خصوصیات فیزیکی شامل دانسیته و حجم، نسبت تخلخل و رنگ دونات نیز تحت تاثیر فرمولاسیون‌های مورد آزمون بررسی شد. در نهایت ماندگاری محصول دونات براساس معیارهای صنعتی از نظر نرمی بافت، رشد کپک و نگهداری آیسینگ ارزیابی شد.

1 Poly-γ-glutamic acid (γ-PGA)
2 Psyllium husk fibre
3 Magwinya
4 Gas-fueled fritter
5 Crepe maker

مواد و روش‌ها

تهیه خمیر دونات

فرمولاسیون صنعتی تهیه خمیر دونات مطابق با صباغی (۲۰۲۱) بر اساس جدول ۱ در نظر گرفته شد. تعداد دونات مورد نیاز ۲۰ عدد بود و بر همین اساس نسبت‌ها برای تهیه ۲۰۰۰ گرم خمیر محاسبه گردید. ابتدا، ماده خشک خمیر با قرار دادن نمونه خمیر معمول در آون ۱۰۵ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت محاسبه شد و درصد مواد جامد خمیر برابر با ۰/۰۸۹±۶۸/۱۶۳ درصد بود. بنابراین با توجه به اینکه وزن ماده خشک موجود در ۲۰۰۰ گرم خیمر برابر با حدود ۱۳۶۳/۲۶ گرم است، مطابق Sakhale و همکاران (۲۰۱۱) در این فرمولاسیون صمغ زانتان، کربوکسی متیل سلولز و صمغ ترکیبی زانتان و کربوکسی متیل سلولز (به نسبت ۵۰:۵۰) به میزان صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد براساس وزن ماده خشک خمیر افزوده گردید که به ترتیب برابر با صفر، ۶/۸۱۶، ۱۳/۶۳۲ و ۲۰/۴۴۸ گرم بود. در پیش آزمون مشخص شد که میزان آب در فرمولاسیون شاهد (فاقد صمغ) بایستی ۱۲/۵ گرم بیشتر از حد تئوری مقیاس صنعتی یعنی برابر با ۴۵۸/۸۵۹ گرم باشد تا خمیر مناسبی را در مقیاس آزمایشگاهی به‌دست دهد.

جدول ۱- فرمولاسیون معمول دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	تخم‌مرغ کامل هم‌زده	۴۰/۸۳۹
۲	آرد گندم	۱۲۳۴
۳	شکر	۱۳۸/۵۲۵
٤	خمیر مایه تر	۲۹/۱۶۱
۵	نمک طعام	۶/۵۳۲
٦	اسید سیتریک خوراکی خشک	۰/۶۱۶
۷	پروپیلن گلایکول	۱۶/۱۲۱
۸	بهبوددهنده و ژل دونات	۲۶/۹۶۸
۹	آب آشامیدنی	۴۴۶/۳۵۹+۱۲/۵
۱۰	روغن جامد آفتاب	۶۰/۸۷۹
	مجموع (گرم)	۲۰۰۰+۱۲/۵

جدول ۲- مقدار آب مازاد و زمان هم‌زدن برای فرمولاسیون‌های حاوی صمغ

صمغ	درصد صمغ	مقدار آب مازاد (گرم)	زمان هم‌زدن (دقیقه)
شاهد (فاقد صمغ)	-	صفر	۱۰
کربوکسی متیل سلولز	۰/۵	۶	۱۰
	۱	۱۴	۱۰
	۱/۵	۴۲/۶	۱۵
زانتان	۰/۵	۴۰/۳	۱۰
	۱	۶۱	۱۵
	۱/۵	۸۳	۲۰
زانتان+کربوکسی متیل سلولز (۵۰:۵۰)	۰/۵	۸	۱۰
	۱	۱۸	۱۴
	۱/۵	۳۱/۱	۱۵

تهیه خمیر دونات

برای مخلوط کردن نهایی و تولید خمیر مطابق با صباغی (۲۰۲۱) از هم‌زن نیمه صنعتی (مدل: Xuzhong MACS Advertises Dough Mixer-Model Number: szm20) استفاده شد. کفایت این مرحله با توجه به شکل کشسانی خمیر در نظر گرفته شد که بایستی کشش‌پذیری مناسبی تا ایجاد یک لایه نازک خمیر را داشته باشد. بدین منظور مقدار آب اضافی در خمیر حاوی صمغ (مازاد بر ۴۵۸/۸۵۹ گرم) و مدت زمان هم‌زدن اهمیت دارد که به صورت پیش‌آزمون برا

فرمولاسیون‌ها محاسبه شد و در جدول ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نصف زمان هم‌زدن روی دور کُند و نصف آن روی دور تند یا ضربه‌ای با هدف ورز دادن برآورد شد.

ورز دادن و قالب‌گیری خمیر

برای ورز دادن خمیر از وردنه و یک صفحه پلاستیکی استفاده شد. ابتدا روی صفحه پلاستیکی مقداری آرد پاشیده شد و سپس خمیر توسط وردنه به‌صورت لایه‌ای با ضخامت ۱۰-۹ میلی‌متر روی آن در آمد. ضخامت خمیر در نقاط تصادفی با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. سپس قالب‌گیری خمیر دونات با استفاده از قالبی شش ضلعی انجام گرفت. وزن هر دونات قالب‌گیری‌شده حدود ۴۷ گرم بود. مدت زمان لازم برای ورز دادن و قالب‌گیری ۱۵-۱۰ دقیقه بود. تعداد ۲۰ چانه خمیر دونات برای هر فرمولاسیون (۱۰ فرمولاسیون) قالب‌گیری و توزین شد.

تخمیر و سرخ‌کردن

به‌منظور تخمیر، گرم‌خانه‌گذاری صنعتی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد انجام گرفت. مدت زمان گرم‌خانه‌گذاری برابر با ۴۰-۳۰ دقیقه بود. پس از انجام فرآیند تخمیر؛ چانه‌های خمیر دونات‌ها با استفاده از سرخ‌کن صنعتی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد فرآوری شدند. مدت زمان سرخ‌کردن در طرف اول ۹۰ ثانیه و در طرف دوم ۷۵ ثانیه بود. پس از خروج از سرخ‌کن، دونات به مدت ۳۰۰ ثانیه در هوای محیط سرد شد و سپس تمامی نمونه‌ها توزین شد.

قرار دادن آیسینگ و بسته‌بندی

از کل نمونه‌ها، سه عدد دونات برای آزمایشات شیمیایی در نظر گرفته شد و مابقی ۱۷ عدد دونات وارد مرحله قرار دادن آیسینگ شد. آیسینگ مطابق جدول ۳ تهیه شد و روی دونات‌ها ریخته شد. وزن آیسینگ روی دونات حدود ۸ گرم بود. سپس بسته‌بندی با پلی پروپیلن انجام گرفت.

جدول ۳- فرمولاسیون معمول آیسینگ دونات

ردیف	ترکیب	مقدار مصرف (گرم)
۱	پودر شکر	۱۰۸/۵۶۴
۲	شربت آیسینگ بریکس ۷۰	۴۷/۳۵۰
۳	نشاسته	۰/۹۲۳
٤	جوش شیرین	۰/۰۵۵
۵	روغن جامد آفتاب	۳/۱۰۸
	مجموع (گرم)	۱۶۰

عکس راندمان سرخ‌کردن

از آن جا که معیار جذب روغن در صنعت؛ وزن دونات پس از سرخ‌کردن است، از مقایسه عکس راندمان سرخ‌کردن استفاده شد. زیرا وزن دونات بعد از سرخ‌کردن با جذب روغن زیاد می‌شود. بدین منظور، برای محاسبه راندمان سرخ‌کردن با درنظر گرفتن وزن دونات‌های سرخ شده و چانه‌های خام (خمیر) مطابق با روش Akdeniz و همکاران (۲۰۰۵) از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه، CW وزن دونات سرخ شده (g) و C وزن دونات سرخ نشده (g) و Ra راندمان سرخ‌کردن می‌باشد. سپس عکس راندمان به‌دست آمد.

$$Ra = \left(\frac{CW}{C}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

اندازه‌گیری محتوی و رطوبت

اندازه‌گیری محتوی رطوبت دونات‌ها مطابق با دستورالعمل AOAC (۱۹۹۵) با قرار دادن وزن معینی از دونات سرخ‌شده در آون ۱۰۵ درجه به مدت ۳ ساعت انجام شد. سپس با استفاده از رابطه (۲) میزان رطوبت نمونه بر مبنای وزن خشک بدون روغن محاسبه گردید. در این رابطه M جرم نسبی رطوبت بر مبنای وزن خشک بدون روغن (g/g, db)، W_0 وزن ثابت ظرف فلزی، W_1 وزن ظرف به همراه نمونه قبل از خشک کردن، W_2 وزن ظرف به همراه نمونه بعد از خشک کردن و W_{oil} وزن روغن جذب شده بر حسب ماده خشک (پس از استخراج روغن به روش سوکسله) همگی بر حسب گرم می‌باشند. تخمین محتوی رطوبت در خمیر نیز با روش یکسانی انجام گرفت (در خمیر $W_{oil}=0$).

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_0 - W_{oil}} \qquad (۲)$$

شاخص اتلاف رطوبت

پس از محاسبه محتوی رطوبت در دونات و خمیر مطابق با Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص اتلاف رطوبت با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است. در این رابطه ML اتلاف رطوبت بر حسب گرم بر گرم خمیر، W_{dough} وزن خمیر، M_{dough} محتوی رطوبت خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات و $M_{doughnut}$ محتوی رطوبت دونات را نشان می‌دهد.

$$ML\ (g/g) = \frac{\left((W_{dough} \times M_{dough}) - (W_{doughnut} \times M_{doughnut})\right)}{W_{dough}} \qquad (۳)$$

اندارە‌گیری محتوی روغن

محتوی روغن دونات‌ها با استفاده از روش استخراج سوکسله نمونه‌های خشک به وسیله پترولیوم اتر به مدت ۶ ساعت مطابق با دستورالعمل

AOAC (۱۹۹۵) تخمین زده شد. جرم نسبی روغن برحسب ماده خشک بدون روغن مطابق رابطه (۴) محاسبه شد. در این رابطه W_1 وزن ثابت اولیه بالن، W_2 وزن نهایی بالن پس از استخراج و m وزن نمونه خشک شده فاقد روغن بر حسب گرم می‌باشند و O میزان روغن جذب شده برحسب ماده خشک (g/g, db) محاسبه شد. میانگین محتوی چربی موجود در خمیر اولیه نیز محاسبه گردید و از این مقدار کسر شد.

$$O = \frac{W_1 - W_2}{m} \quad (۴)$$

جذب روغن

پس از محاسبه محتوی روغن در دونات و خمیر؛ شاخص جذب روغن با استفاده از رابطه (۵) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) قابل محاسبه است. در این رابطه OU جذب روغن بر حسب گرم بر گرم خمیر، $W_{doughnut}$ وزن دونات، $O_{doughnut}$ محتوی روغن دونات، W_{dough} وزن خمیر و O_{dough} محتوی چربی خمیر را نشان می‌دهد.

$$OU\,(g/g) = \frac{\left((W_{doughnut} \times O_{doughnut}) - (W_{dough} \times O_{dough})\right)}{W_{dough}} \quad (۵)$$

شاخص بازدارندگی از جذب روغن

از نسبت جذب روغن (OU) به اتلاف رطوبت (ML) مطابق Lim و همکاران (۲۰۱۲) شاخص بازدارندگی جذب روغن (U_R) مطابق رابطه (۶) محاسبه شد. در اینجا شاخص بازدارندگی بیشتر نشان‌دهنده جذب روغن بیشتر است.

$$U_R = \frac{OU}{ML} \quad (۶)$$

دانسیته محصول

محاسبه دانسیته با استفاده از روش وزن هکتولیتر دانه‌های ارزن و روش جابه‌جایی[1] مطابق با Vélez-Ruiz و Sosa-Morales (۲۰۰۳) انجام شد. ابتدا ظرفی با حجم مشخص از ارزن پر شد. وزن یک لیتر ارزن برابر با ۷۳۶/۹ گرم بود. سپس وزن نمونه دونات (m) با توزین مشخص شد و در ظرف قرار گرفت و باقی‌مانده حجم ظرف با ارزن پر شد. ارزن خارج مانده از ظرف در داخل یک استوانه مدرج ریخته شد و حجم (V) از روی استوانه مدرج مشخص گردید. این حجم برابر با حجم اشغال‌شده توسط نمونه دونات است. در نهایت، دانسیته (d) از رابطه (۷) بر حسب (g/cm^3) محاسبه شد.

$$d = \frac{m}{V} \quad (۷)$$

عکس‌برداری از محصول

به منظور بررسی تخلخل و رنگ به ترتیب عکس‌برداری از برش دونات و سطح نمونه‌های دونات انجام شد. عکس‌برداری با استفاده از یک اسکنر مسطح (HP Scanjet G2710) ساخت ایالات متحده آمریکا مطابق با روش Romani و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. نمونه‌های تحت تیمار روی اسکنر قرار گرفتند و سپس از یک جعبه سیاه جهت ممانعت از دخالت نورهای محیطی و بازتابش نور و یک خط کش برای تنظیم مقیاس استفاده‌شد. تصاویر با کیفیت ۳۰۰ dpi و فرمت TIFF-24 bit تهیه‌گردید.

شاخص تخلخل محصول

جهت بررسی تخلخل، مطابق با Sarraf و همکاران (۲۰۱۷)، تصاویر برش دونات توسط نرم افزار ImageJ نسخه 1.6.0 پردازش شد. مطابق شکل ۱ ابتدا تصویر اصلی (شکل ۱-الف) به تصویر ۸ بیتی (شکل ۱-ب) تبدیل شد و سپس تصویر دودویی (شکل ۱- ج) ایجاد گردید. سپس، نسبت مساحت بخش‌های تیره (S_b) و روشن (S_w) در تصاویر دودویی محاسبه شد و شاخص تخلخل (p) مطابق رابطه (۸) به دست آمد.

$$p = \frac{S_b}{S_w} \quad (۸)$$

رنگ محصول

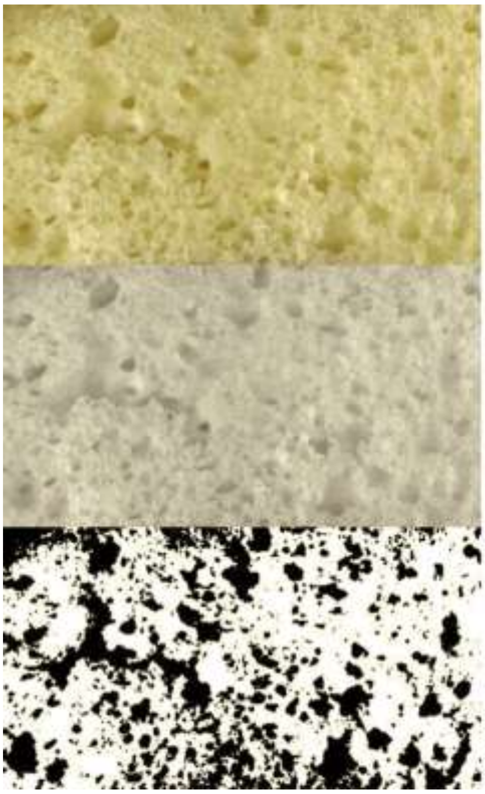
تجزیه و تحلیل رنگ در تصاویر به‌دست‌آمده مطابق روش صباغی و همکاران (۲۰۱۸) توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه 1.6.0 انجام‌شد. بدین منظور فضای رنگی RGB به L*a*b* با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ[2] تبدیل شد و سپس محاسبه روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) انجام گرفت. پارامترهای شدت تغییرات رنگ (dE)، کروما (Cr) و اندیس قهوه‌ای شدن (BI) نیز محاسبه گردید. شدت تغییر رنگ (dE) مطابق روش Dadali و همکاران (۲۰۰۷) براساس رابطه (۹) محاسبه‌شد. در این رابطه، اندیس i مربوط به پارامترهای رنگی اولیه L*a*b* یا نمونه خمیر و اندیس t مربوط به پارامترهای رنگی نمونه دونات می‌باشد. مطابق روش Wojdyło و همکاران (۲۰۰۹) از مولفه‌های رنگی a (قرمزی) و b (زردی) که تعیین‌کننده وجود رنگدانه در محصول هستند می‌توان شاخص کروما (C_r) را مطابق رابطه (۱۰) محاسبه نمود.

1 Displacement method

2 Color space convertor

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_t)^2 + (a_i - a_t)^2 + (b_i - b_t)^2} \quad (۹)$$

$$C_r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (۱۰)$$


(الف)
(ب)
(ج)

شکل ۱- پردازش تصاویر برای محاسبه شاخص تخلخل (الف) تصویر اولیه (ب) تصویر ۸ بیتی (ج) تصویر دودویی

اندیس قهوه‌ای‌شدن (BI) نیز مطابق روش Maskan (۲۰۰۱) از رابطه (۱۱) حساب‌شد. در این رابطه، متغیر x از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (۱۱)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)} \quad (۱۲)$$

ماندگاری محصول

آزمون مرتبط با دوره نگهداری دونات در صنعت شامل بررسی نرمی بافت، عدم جذب آیسینگ و رشد کپک است که طی مدت دو هفته (۱۴ روز) به‌صورت روزانه از روز دوم تولید انجام شد و با مقایسه با نمونه شاهد امتیازدهی مطابق مقیاس شکل ۲ صورت گرفت. مطابق با روش صباغی و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی با انتخاب یک عدد از یک تا ده ضمن در نظرگیری امتیاز لفظی انجام گرفت. مطابق این مقیاس، نمرات از ۱ تا ۱۰ معادل با الفاظ خیلی خوب (۹ و ۱۰) ، خوب (۷ و ۸)، متوسط (۵ و ۶)، بد (۳ و۴) و خیلی بد (۱ و۲) بود.



شکل ۲- مقیاس هدونیک با پنج تقسیم‌بندی برای ارزیابی دونات

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری برای بررسی تاثیر صمغ روی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده به صورت طرح کاملا تصادفی با در نظرگیری ۱۰ تیمار فرمولاسیون به صورت شاهد (فاقد صمغ)، صمغ زانتان (سه میزان: ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)، کربوکسی متیل سلولز (سه میزان: ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) و تیمار ترکیبی ۵۰:۵۰ (سه میزان: ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)

انجام گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار مقایسه میانگین دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت پذیرفت (P<0.05). برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد. کلیه آزمایشات با سه تکرار انجام گرفت.

نتایج و بحث

رطوبت دونات

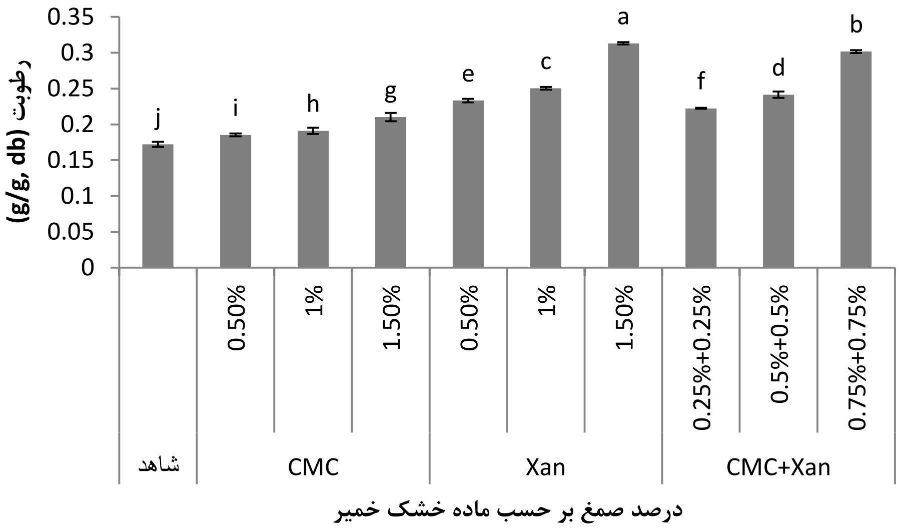
جدول ۴ و ۵ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری را به ترتیب برای داده‌های محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت دونات را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای آزمون معنی‌دار شده است (P<۰/۰۵). شکل ۳ و ۴ نیز به‌ترتیب مقایسه میانگین محتوی رطوبت و اتلاف رطوبت را میان فرمولاسیون‌های مختلف آزمون مشخص می‌نماید. همان‌طور که مشخص است، نمونه حاوی میزان زانتان برابر ۱/۵ درصد بیشترین میزان رطوبت را نشان داده است و پس از آن نسبت ترکیبی ۱/۵ درصد قرار گرفته است. تیمار شاهد و کربوکسی متیل سلولز بیشترین اتلاف رطوبت را نشان داد. با افزایش درصد حضور صمغ در فرمولاسیون دونات؛ محتوی رطوبت محصول افزایش یافت. بنابراین اتلاف رطوبت نیز به‌طور معکوس با افزایش درصد صمغ کاهش یافت. با توجه به اینکه، مکانیسم انتقال رطوبت در محصول بسیار پیچیده است و با انتشار مولکولی، فشار موئینگی و گرادیان فشار توضیح داده می‌شود. مهمترین نقش ترکیبات هیدروکلوئیدی را جلوگیری از خروج رطوبت از مواد غذایی می‌توان بیان کرد. این ترکیبات ظرفیت نگهداری آب[1] را در محصول افزایش می‌دهد و این امر در کاهش جذب روغن نیز موثر است.

جدول ٤- تجزیه واریانس برای داده‌های رطوبت دونات (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۰/۰۶۰	۹	۰/۰۰۷	۵۹۹/۳۰۶	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۰/۰۰۰	۲۰	۰/۰۰۰		
کل	۰/۰۶۰	۲۹			

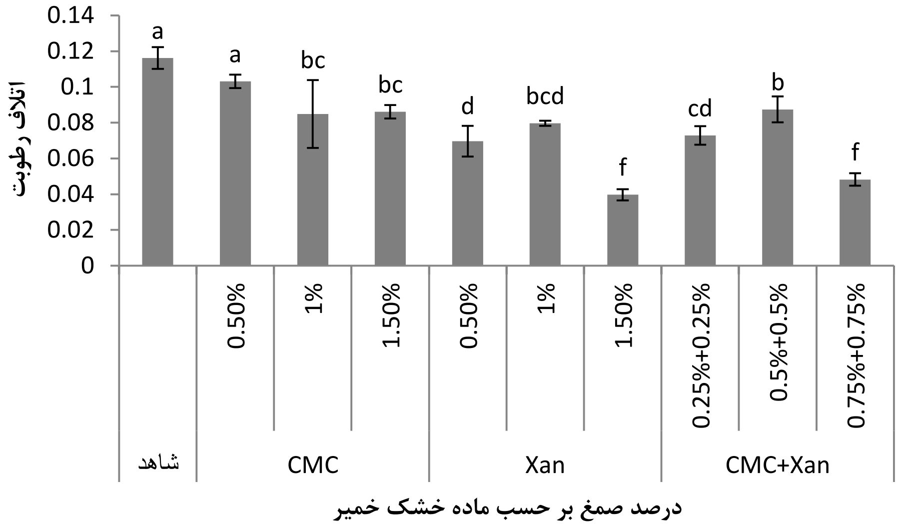
جدول ٥- تجزیه واریانس برای داده‌های اتلاف رطوبت دونات (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۰/۰۱۴	۹	۰/۰۰۲	۲۶/۱۸۰	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۰/۰۰۱	۲۰	۰/۰۰۰		
کل	۰/۰۱۵	۲۹			



[1] Water holding capacity

شکل ۳- مقایسه میانگین محتوی رطوبت دونات در تیمارهای آزمون



شکل ٤- مقایسه میانگین اتلاف رطوبت دونات در تیمارهای آزمون

در همین راستا، Suárez و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که حضور مشتقات سلولز، جذب روغن را به دلیل ویژگی تشکیل ژل[1] در شرایط حرارتی کاهش می‌دهد. وقتی این ترکیبات به یک خمیره اضافه می‌شوند در اسرع وقت ژل تشکیل می‌دهند که ظرفیت بالایی را در احتباس آب در هنگام تماس با روغن داغ دارا است و این امر در حفظ رطوبت بستر و همچنین جلوگیری از نفوذ روغن موثر خواهد بود.

جذب روغن دونات

جدول ۶ و ۷ نتایج تجزیه واریانس را به ترتیب برای داده‌های محتوی روغن و جذب روغن دونات‌ها مشخص می‌نماید. اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی‌دار بوده است (P<۰/۰۵). در شکل ۵ و ۶ مقایسه میانگین برای محتوی روغن و جذب روغن فرمولاسیون‌های مختلف نشان داده شده است. کمترین محتوی روغن به شکل معنی‌داری در نمونه‌های حاوی زانتان مشاهده شد (محتوی روغن برابر با ۰/۱۷۴ گرم روغن بر گرم ماده خشک و جذب روغن معادل ۰/۰۸۷ در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان). با افزایش میزان صمغ‌ها همواره محتوی روغن کاهش یافت. در مقابل، بیشترین جذب روغن در نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد.

جذب روغن در دونات ارتباط معکوس با توانایی فرمولاسیون در حفظ رطوبت محصول داشت. به این معنی که با افزایش درصد حضور صمغ‌ها در محصول جذب روغن و در نتیجه محتوی روغن محصول کاهش یافت. در واقع، فرمولاسیون‌های حاوی درصدهای بیشتر صمغ دارای بازدارندگی بالاتری در جذب روغن به علت حفظ رطوبت بودند. در همین راستا، Saguy و Pinthus (۱۹۹۵) نیز بیان کردند که اولین مکانیسم جذب روغن جایگزینی آب است. در این حالت روغن به ماده غذایی چسبیده و متناسب با مقدار آبی که ماده غذایی از دست داده، وارد منافذ موجود در ماده غذایی می‌شود. این عمل از چروکیده شدن سطح ماده غذایی جلوگیری می‌کند. Ziaiifar و Sabbaghi (۲۰۱۸) بیان کردند که با افزایش غلظت بقایای روغن در بستر سرخ‌کن، جذب روغن نیز بیشتر خواهد شد. ترکیبات هیدروکلوئیدی با کاهش خروج رطوبت موجب جلوگیری از واکنش‌های هیدرولیز می‌گردند و در نتیجه ساختار روغن کمتر دچار آلودگی پلیمری خواهد شد.

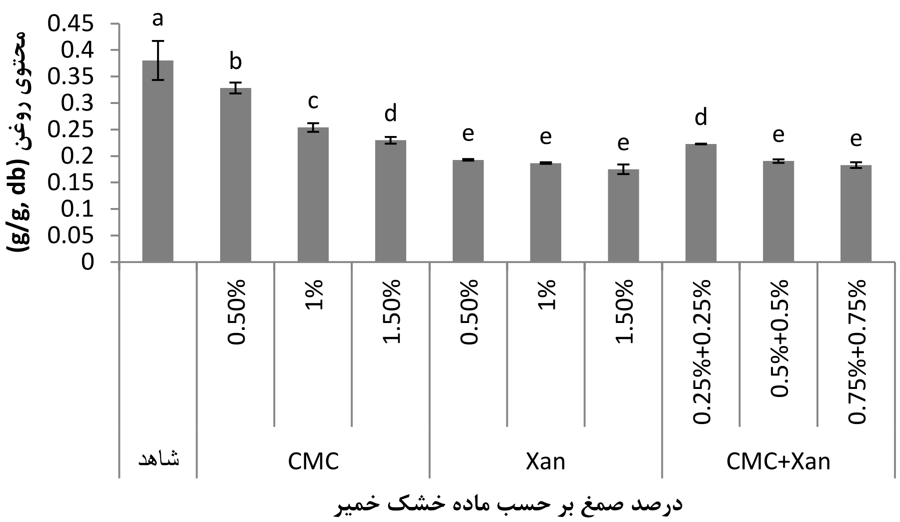
جدول ٦- تجزیه واریانس برای داده‌های محتوی روغن دونات (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۰/۱۲۹	۹	۰/۰۱۴	۸۴/۶۵۷	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۰/۰۰۳	۲۰	۰/۰۰۰		
کل	۰/۱۳۲	۲۹			

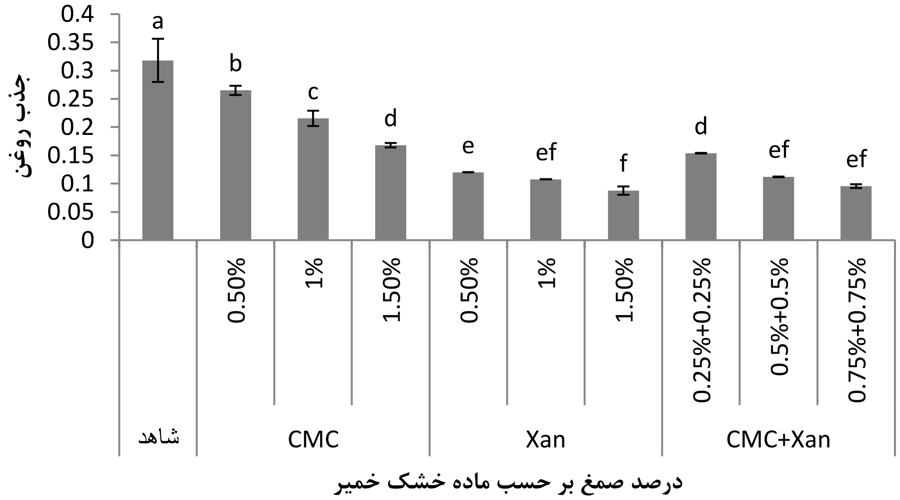
1 Gelation

جدول ۷- تجزیه واریانس برای دادههای جذب روغن دونات (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنیداری (sig.)
بین گروهها (تیمار)	۰/۱۶۵	۹	۰/۰۱۸	۱۰۲/۸۱۴	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروهها (خطا)	۰/۰۰۴	۲۰	۰/۰۰۰		
کل	۰/۱۶۹	۲۹			



شکل ۵- مقایسه میانگین محتوی روغن دونات در تیمارهای آزمون



شکل ٦- مقایسه میانگین جذب روغن دونات در تیمارهای آزمون

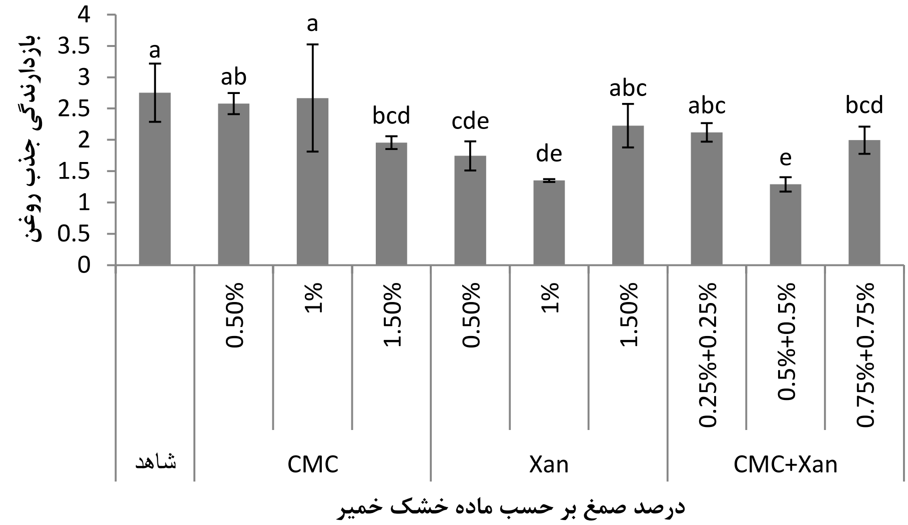
نسبت بازدارندگی جذب روغن و عکس راندمان سرخ‌کردن

نسبت بازدارندگی جذب روغن رابطه مستقیم با جذب روغن دارد. بنابراین با افزایش جذب روغن نسبت بازدارندگی جذب روغن هم افزایش می‌یابد. اختلاف میان تیمارهای آزمون از این نظر نیز معنی‌دار بود (جدول ۸). بنابراین مطابق شکل ۷ تیمارهای حاوی زانتان کمترین نسبت بازدارندگی را داشتند.

عکس راندمان سرخ‌کردن به معنی عدم تغییرات جرمی محصول طی سرخ‌کردن است. با انجام تجزیه واریانس مطابق جدول ۹ اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون معنی‌دار شد. بنابراین زانتان ۱/۵ درصد بیشترین عکس راندمان را نشان داد که با کاهش درصد به‌کارگیری صمغ، این نسبت کاهش یافت (شکل ۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس برای داده‌های بازدارندگی جذب روغن دونات (P<۰/۰۵)

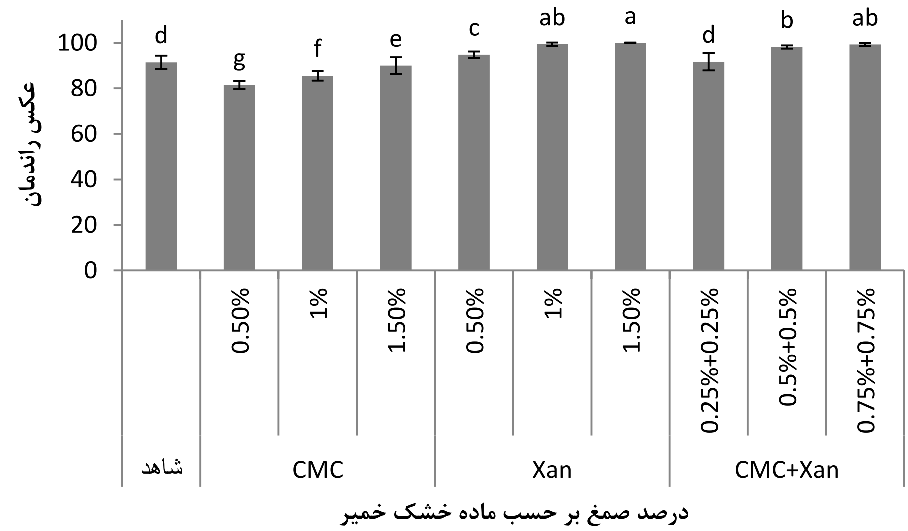
	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۷/۰۸۱	۹	۰/۷۸۷	۶/۳۱۴	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۲/۴۹۲	۲۰	۰/۱۲۵		
کل	۹/۵۷۳	۲۹			



شکل ۷- مقایسه میانگین یازدارندگی جذب روغن دونات در تیمارهای آزمون

جدول ۹- تجزیه واریانس برای داده‌های عکس راندمان سرخ‌کردن (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	**درجه آزادی (df)**	**میانگین مربعات (MS)**	**F**	**معنی‌داری (sig.)**
بین گروها (تیمار)	۷۱۶۵/۸۶۵	۹	۷۹۶/۲۰۷	۱۶۹/۲۷۱	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۸۸۹/۰۰۷	۱۸۹	۴/۷۰۴		
کل	۸۰۵۴/۸۷۲	۱۹۸			



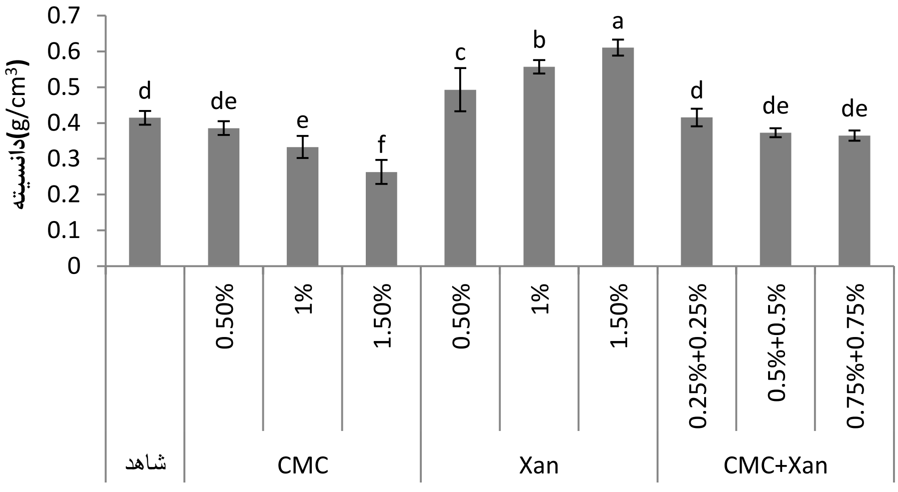
شکل ۸- مقایسه میانگین عکس راندمان سرخ‌کردن دونات در تیمارهای آزمون

دانسیته دونات

جدول ۱۰ تجزیه واریانس داده‌های دانسیته را نشان می‌دهد. اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر دانسیته و حجم معنی‌دار بوده است (P<۰/۰۵). مقایسه میانگین درشکل ۹ مشخص است. بیشترین دانسیته یا کمترین حجم در نمونه‌های حاوی صمغ زانتان به خصوص میزان ۱/۵ درصد این صمغ مشاهده گردید (بیشترین دانسیته معادل با ۰/۶۱۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در میزان ۱/۵ درصد صمغ زانتان). تغییرات حجم در فرمولاسیون‌های حاوی زانتان و کربوکسی متیل سلولز نمود متفاوتی داشت. با افزایش میزان زانتان حجم محصول کاهش یافت در حالی که با افزایش میزان کربوکسی متیل سلولز حجم افزایش پیدا کرد. در سطوح ترکیبی نیز اختلاف چندانی با شاهد ملاحظه نشد. تغییرات حجمی محصول به علت توسعه بافت محصول در دماهای بالای فرآیند سرخ‌کردن حادث می‌گردد. افزایش حجم موجب افزایش سطح محصول در تماس با روغن می‌گردد. بنابراین نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز سطح تماس روغن بیشتری داشتند و جذب روغن بالاتری نیز نشان دادند.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس برای داده‌های دانسیته دونات (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۰/۲۹۷	۹	۰/۰۳۳	۴۰/۱۷۶	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۰/۰۱۶	۲۰	۰/۰۰۱		
کل	۰/۳۱۳	۲۹			



شکل ۹- مقایسه میانگین دانسیته دونات در تیمارهای آزمون

در همین راستا، Bouchon و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که سطح ماده غذایی نقش مهمی را در پدیده جذب روغن ایفا می‌کند. Moreno و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که محصولات خصوصیات سطحی متفاوتی دارند. به عنوان مثال، محصولی که بر پایه قطعات سیب زمینی[1] است، دارای بی‌نظمی‌های سطحی بیشتری در مقایسه با محصولی می‌باشد که بر پایه گلوتن[2] است. به‌طور کلی می‌توان گفت ارتباط خطی بین جذب روغن و خصوصیات سطحی محصول مانند زبری و سطح وجود دارد. اما باید توجه داشت که خصوصیات دیگر مانند ریزساختارهای پوسته و خصوصیات خیس‌شوندگی ماتریس ماده غذایی نیز موجب اختلاف جذب روغن در مواد غذایی مختلف می‌باشد. روغن در سطح محصول دونات تجمع می‌یابد و هرچه سطح تماس افزایش یابد، جذب سطحی بیشتر خواهد شد. Mellema (۲۰۰۳) بیان کرد که دلیل دیگری نیز برای تجمع روغن در بخش های سطحی وجود دارد. در واقع روغن سرخ‌کردنی می‌تواند دارای بخش‌هایی باشد که بتوانند در طی مرحله سردکردن دچار تبلور[3] شوند و به حالت جامد تبدیل گردند، بنابراین حذف این بخش از روغن با تکان‌دادن[4] یا قراردادن محصول

1 Potato flakes
2 Gluten

3 Crystallization
4 Shake

در سبدهای فلزی[1] دشوار می‌باشد و در نتیجه این حالت، مقدار روغن ماده غذایی افزایش خواهد یافت. دانسیته محصولات سرخ‌شده تحت تاثیر تغییرات چروکیدگی، تخلخل و خصوصیات انتقال بافت ماده نظیر نفوذ حرارتی و جرمی در طی سرخ کردن تغییر می‌کند. محتوی روغن کمتر در محصول (تیمارهای حاوی زانتان)، به‌دلیل دانسیته کمتر روغن نسبت به محصول، موجب افزایش دانسیته مطلق خواهد شد. بنابراین، جذب روغن به دلیل اینکه دانسیته روغن از محصول کمتر است، موجب کاهش دانسیته مطلق می‌گردد.

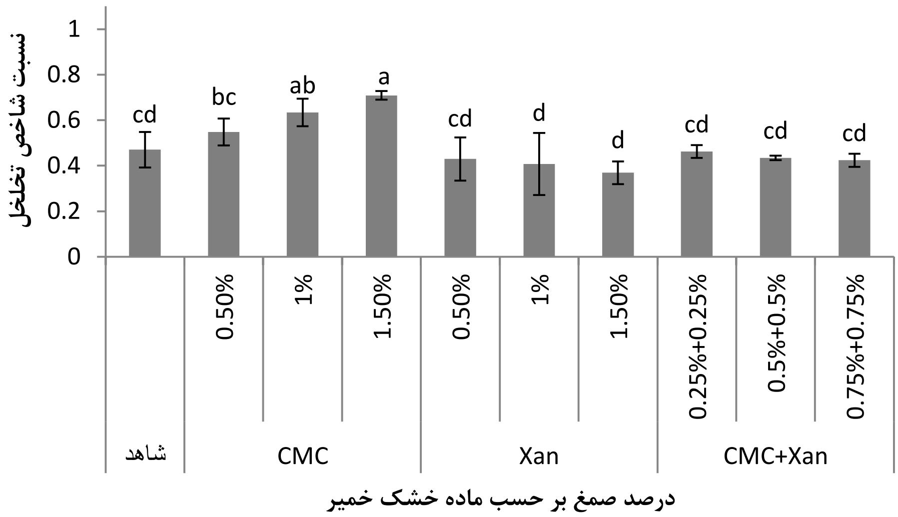
تخلخل دونات

جدول ۱۱ تجزیه واریانس داده‌های نسبت شاخص تخلخل در نمونه‌های مورد آزمون را نشان می‌دهد. اختلاف میان تیمارها معنی‌دار بود که مقایسه در شکل ۱۰ مشخص شده است (P<۰/۰۵). شاخص تخلخل در نمونه‌های حاوی زانتان با افزایش درصد صمغ کاسته شد و در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز با افزایش درصد صمغ زیاد شد. بیشترین تخلخل در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز دیده شد. کمترین تخلخل در نمونه‌های حاوی میزان ۱ و ۱/۵ درصد زانتان نمایان بود. تخلخل و حجم نمونه‌ها با یکدیگر رابطه مستقیم داشتند. در نمونه‌های حاوی نسبت‌های ترکیبی صمغ تغییرات تخلخل با افزایش درصد صمغ معنی‌دار نبود. می‌توان گفت که، فرمولاسیون‌های حاوی زانتان نمونه‌هایی هستند که افزایش اندکی را در اندازه حجم سلولی نشان می‌دهند و دارای یکپارچگی سلولی[2] هستند و تخلخل کمتری دارند اما ساختار غشاء سلولی با حفظ رطوبت بهبود یافته است. در واقع کاهش شدت تبخیر در فرمولاسیون حاوی زانتان موجب کاهش تخلخل نیز شده است. نمونه‌های حاوی کروبکسی متیل سلولز ساختار متخلخل و جذب روغن بیشتری را نشان دادند. در همین راستا، Moreira و Barrufet (۱۹۹۶) بیان کردند که بیشترین جذب روغن به محصول در زمان برداشتن از روی سرخ‌کن، فشار ناشی از کندانس‌شدن بخار و ایجاد شرایط خلاء در داخل محصول و فشار نیروهای مویینگی[3] است. Gamble و همکاران (۱۹۸۷) نیز گزارش کردند که روغن جذب شده در حفرات، ناشی از خروج آب، از طریق جلوگیری از انقباض و چروکیدگی و بسته شدن منافذ، تمامیت ساختاری محصول را حفظ کرده و به خروج آب از محصول نیز می‌تواند کمک کند. بنابراین، کاهش توانایی حفظ رطوبت در دونات حاوی کربوکسی متیل سلولز طی سرخ‌کردن می‌تواند به دلیل ساختار متخلخل باشد. همچنین، Kim و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که در واقع کاهش جذب روغن توسط ترکیب هیدروکلوئیدی (زانتان) به احتمال زیادی می‌تواند ناشی از کاهش ضریب انتقال حرات جابجایی نیز باشد. زیرا تبخیر شدید آب، طی انتقال حرارت در فرآیند سرخ‌کردن، موجب ایجاد حفرات و منافذ در ماده غذایی می‌شود و ترکیبات هیدروکلوئیدی با کاهش ضریب انتقال حرارت و قابلیت نگهداری آب، شدت تبخیر آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تبخیر همچنین موجب چروکیدگی محصول و توسعه تخلخل و زبری[4] سطحی می‌گردد (افزایش جذب روغن). تبخیر خیلی شدید می‌تواند منجر به تشکیل حفرات بزرگ‌تری نیز در سطح محصول گردد. بنابراین، طی سرخ‌کردن همان‌طور که آب محصول خارج و کاسته می‌شود، احتمال ورود و نفوذ روغن به منافذ افزایش می‌یابد. مقاومت در برابر مهاجرت روغن به ویسکوزیته روغن و نحوه اتصال و بهم پیوستگی حفرات و سلول‌های خالی (تخلخل) بستگی دارد. افزایش تخلخل با سرخ‌کردن مشاهده شود که علت آن حذف رطوبت و تشکیل منافذ درون ماده غذایی است. طی مرحله سرد کردن تخلخل محصول کاهش یافته و جذب روغن افزایش می‌یابد. نرخ کاهش تخلخل طی مرحله سرد کردن بیشتر از نرخ افزایش تخلخل طی سرخ کردن است و در نتیجه جذب روغن طی سردکردن با نرخ بیشتری نسبت به سرخ‌کردن رخ می‌دهد (تبلور روغن در سطح). روغن جذب شده به دلیل پر کردن منافذ محصول می‌تواند روی تخلخل تاثیر داشته باشد. طی سرخ‌کردن جذب روغن محدودتر است و محتوی روغن برای پر کردن منافذی که به طور مداوم در حال تشکیل هستند، کافی نیست. در واقع، جذب روغن و متلاشی شدن منافذ دو دلیل عمده در کاهش تخلخل طی سرد کردن محصول می‌باشند. با توجه به حجم ناچیز روغن جذب شده می‌توان گفت متلاشی شدن منافذ نقش مهم‌تری در کاهش تخلخل طی سردکردن محصول دارد.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس برای داده‌های نسبت شاخص تخلخل (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (.sig)
بین گروها (تیمار)	۰/۳۱۶	۹	۰/۰۳۵	۷/۷۳۳	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۰/۰۹۱	۲۰	۰/۰۰۵		
کل	۰/۴۰۷	۲۹			

1 Drain
2 Cellular integrity
3 Capillary Forces
4 Roughness



شکل ۱۰- مقایسه میانگین نسبت شاخص تخلخل دونات در تیمارهای آزمون

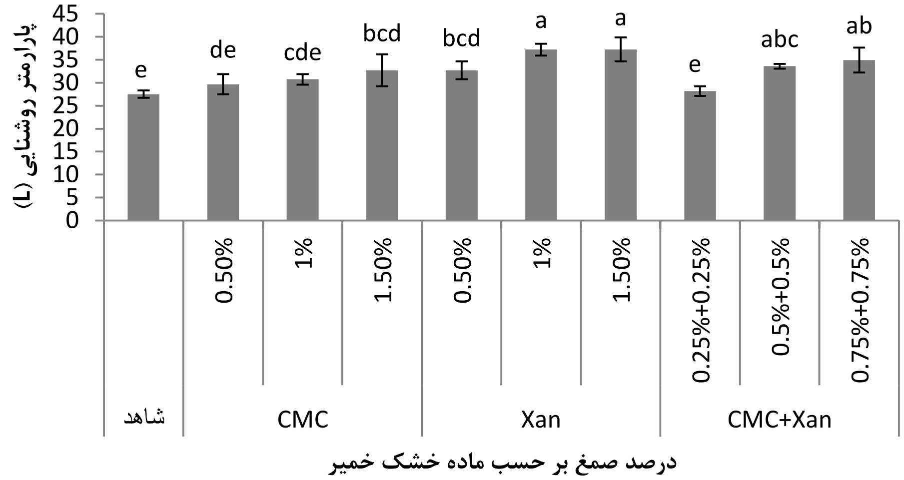
رنگ دونات

جدول ۱۲ نتایج تجزیه واریانس را برای پارامترهای رنگی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، اختلاف میان تیمارهای مورد آزمون از نظر پارامترهای مختلف رنگ معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

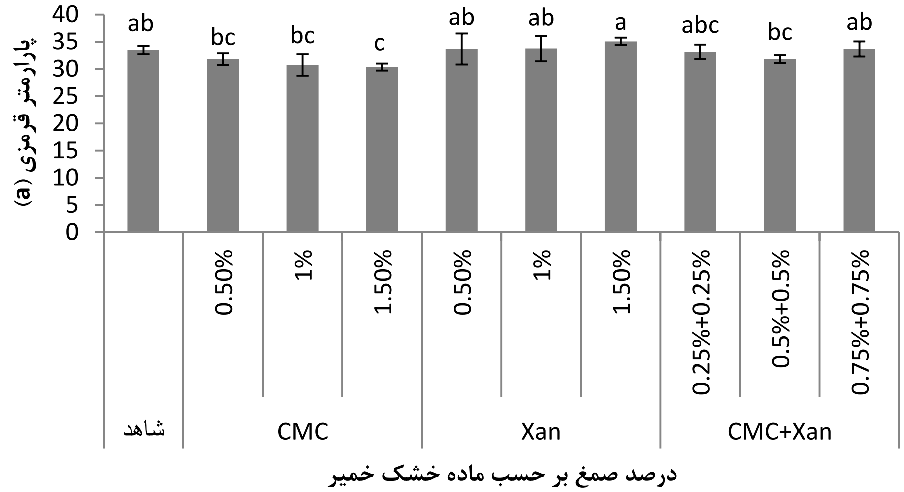
شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ به ترتیب مقایسه میانگین برای پارامتر روشنایی، پارامتر قرمزی، پارامتر زردی، شدت تغییرات رنگ از خمیر به دونات، شاخص کروما و اندیس قهوه‌ای شدن را میان تیمارهای مورد آزمون نشان می‌دهد.

جدول ۱۲- تجزیه واریانس برای داده‌های پارامترهای رنگ دونات (P<۰/۰۵)

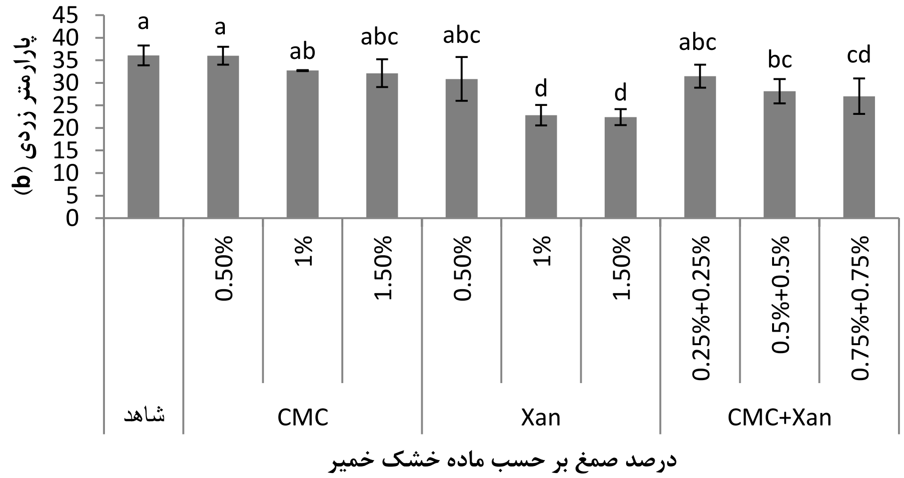
پارامتر رنگ		مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
روشنایی (L)	تیمار	۳۱۹/۵۵۷	۹	۳۵/۵۰۶	۸/۹۳۳	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۷۹/۴۹۳	۲۰	۳/۹۷۵		
	کل	۳۹۹/۰۵۱	۲۹			
قرمزی (a)	تیمار	۶۰/۹۴۱	۹	۶/۷۷۱	۲/۷۹۰	۰/۰۲۷
	خطا	۴۸/۵۴۶	۲۰	۲/۴۲۷		
	کل	۱۰۹/۴۸۷	۲۹			
زردی (b)	تیمار	۶۲۸/۸۸۶	۹	۶۹/۸۷۶	۸/۷۵۷	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۱۵۹/۵۹۰	۲۰	۷/۹۸۰		
	کل	۷۷۸/۴۷۶	۲۹			
شدت تغییرات رنگ (dE)	تیمار	۲۴۶/۰۲۵	۹	۲۷/۳۳۶	۷/۵۵۶	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۷۲/۳۵۸	۲۰	۳/۶۱۸		
	کل	۳۱۸/۳۸۳	۲۹			
کروما (Cr)	تیمار	۵۰/۱۸۵	۹	۵/۵۷۶	۲/۷۰۷	
	خطا	۴۱/۱۹۴	۲۰	۲/۰۶۰		۰/۰۳۱
	کل	۹۱/۳۷۹	۲۹			
اندیس قهوه‌ای شدن (BI)	تیمار	۲۱۲۶۰۷/۶۵۶	۹	۲۳۶۲۳/۰۷۳	۲۶/۷۴۷	۰۰۰/۰۰۰
	خطا	۱۷۶۶۳/۹۹۹	۲۰	۸۸۳/۲۰۰		
	کل	۲۳۰۲۷۱/۶۵۵	۲۹			



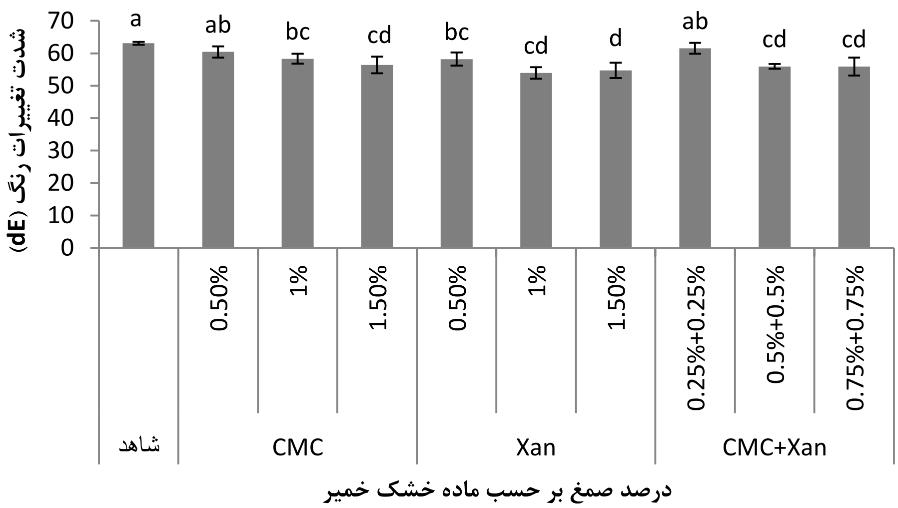
شکل ۱۱- مقایسه میانگین پارامتر روشنایی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



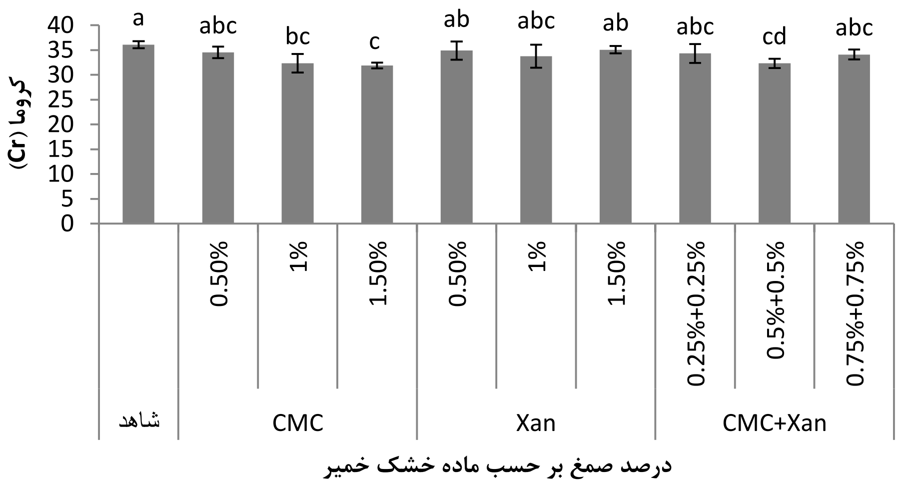
شکل ۱۲- مقایسه میانگین پارامتر قرمزی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



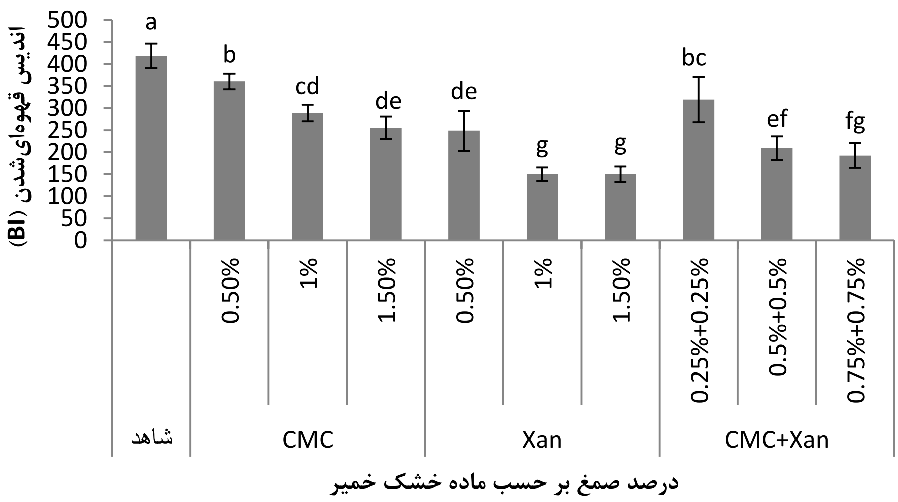
شکل ۱۳- مقایسه میانگین پارامتر زردی رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱٤- مقایسه میانگین شدت تغییرات رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱٥- مقایسه میانگین کرومای رنگ دونات در تیمارهای آزمون



شکل ١٦- مقایسه میانگین اندیس قهوه‌ای‌شدن دونات در تیمارهای آزمون

پارامتر روشنایی در نمونه‌های حاوی زانتان بیشتر بود که می‌تواند به دلیل وجود محتوی رطوبت بیشتر باشد. با کاهش درصد صمغ و در نتیجه افزایش اتلاف رطوبت سطحی پارامتر روشنایی در رنگ نمونه‌های دونات کاهش یافت. پارامتر قرمزی نیز در نمونه‌های حاوی زانتان بیشتر بود که به دلیل فشردگی بیشتر محصول به‌طور نسبی رنگدانه قرمز بیشتری با افزایش میزان زانتان مشاهده شد. با افزایش میزان کربوکسی متیل سلولز مقدار پارامتر قرمزی کاهش یافت. در نسبت‌های ترکیبی رفتاری مشابه زانتان ملاحظه گردید. پارامتر زردی در نمونه‌های حاوی زانتان ۱/۵ و ۱ درصد کمترین میزان بود که کاهش زردی می‌تواند ناشی از تقلیل جذب روغن باشد. بیشترین زردی در نمونه شاهد و سپس کربوکسی متیل سلولز ۰/۵ درصد دیده شد. بیشترین شدت تغییرات رنگ در نمونه شاهد ملاحظه شد. کمترین تغییرات رنگ نیز در نمونه حاوی زانتان ۱/۵ درصد مشاهده گردید. با افزایش درصد صمغ‌ها نیز شدت تغییرات رنگ کاسته شد. این امر نشان‌دهنده این است که نمونه‌های حاوی هر میزان از صمغ‌های مورد آزمون دارای نرخ تغییرات رنگ کندتری بودند و دلیل آن می‌تواند کاهش نسبت شکر در فرمولاسیون و حفظ رطوبت و اثرات جذب روغن باشد. از نظر شاخص کروما نیز نمونه‌ها با وجود اختلاف معنی‌دار زیرگروهای بسیار مشترک داشتند (سطح معنی‌داری= ۰/۰۳۱). بیشترین مقدار رنگدانه در نمونه شاهد بود و سایر تیمارها زیرگروهای مشترک متمایزی را نمایان ساختند. کروما مشخص می‌نماید که رنگدانه‌ها (پارامترهای رنگی قرمزی و زردی) در تیمارها با به کارگیری صمغ در مجموع کمتر بودند. قهوه‌ای شدن در نمونه‌های حاوی زانتان ۱/۵ درصد بیشتر بود ولی تقریباً نمونه‌های دیگر در از نظر معنی‌داری اختلاف چندانی نداشتند و زیرگروهای مشترک نشان دادند. در کل از نظر رنگ اختلاف چندانی بین ظاهر نمونه‌ها مشاهده نشد، هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). نمونه شاهد تواماً زردی و قرمزگونی بالایی داشت. در همین راستا، Bingol و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین صباغی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند، محصولات سرخ‌شده براساس نوع ترکیبات خود تمایل متفاوتی به واکنش‌های تغییر رنگ نشان می‌دهند. با افزایش ضخامت پوسته که روغن بخش عمده تشکیل‌دهنده آن می‌باشد، غلظت ترکیبات ماده خشک محصول افزایش یافته و این امر موجب افزایش پارامتر زردی و البته قرمزی محصول می‌گردد. بنابراین قرمزگونی[1] و زرد گونی[2] محصول اغلب به طور مشابهی تحت تاثیر دما و زمان افزایش می‌یابند. البته افزایش زردی می‌تواند ناشی از جذب سطحی کارتنوئیدهای موجود در بستر روغن نیز باشد. بنابراین کاهش جذب روغن می‌تواند باعث کاهش پارامتر زردی شود (نمونه‌های حاوی زانتان). همچنین آن‌ها بیان کردند که علت این کاهش در فاکتورهای رنگی می‌تواند کاهش توسعه خطوط ریز[3] در محصول یا ایجاد خلل و فرج و خروج هوای بین سلولی و تغییر در خصوصیات بازتاب نور (برای فاکتور L و a) و نشت کارتنوئید به داخل روغن (برای فاکتور b) باشد. بنابراین در نمونه‌های حاوی صمغ که تخلخل بالاتری داشتند روشنایی بیشتر هم مشاهده شد. بنابراین با کنترل حفظ رطوبت کمترین شدت تغییرات رنگ نیز در نمونه حاوی زانتان ۱/۵ درصد ملاحظه شد و این نمونه از نظر قهوه‌ای شدن رفتار یکسانی با نمونه حاوی میزان ۱ درصد زانتان نیز نشان داد. تمامی سطوح زانتان اختلاف معنی‌دار در کروما نداشتند.

ماندگاری دونات

جدول ۱۳ و ۱۴ تجزیه واریانس را به‌ترتیب داده‌های ارزیابی نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ را مشخص می‌نماید. اختلاف معنی‌دار میان تیمارها مشاهده شد (P<۰/۰۵). شکل ۱۷ و ۱۸ مقایسه میانگین آماری را برای ارزیابی نرمی بافت و عدم جذب آیسینگ نشان می‌دهد. رشد کپک در هیچ یک از تیمارهای آزمون و شاهد مشاهده نشد.

بیشترین نرمی بافت در کربوکسی متیل سلولز ۱/۵ درصد مشاهده شد که این امر به دلیل توسعه تخلخل (شدت تبخیر) می‌تواند باشد. کمترین نرمی بافت در نمونه‌های حاوی زانتان ۱ و ۱/۵ درصد دیده شد. بیشترین عدم جذب آیسینگ در نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز نشان داده شده است که بافت نرم و متخلخل دارند. نمونه‌های حاوی زانتان دارای کمترین امتیاز عدم جذب آیسینگ بودند که بافت فشرده، حجم کم و رطوبت زیاد شرایط مناسب برای جذب آیسینگ را نشان می‌دهد. در واقع، نگهداری آیسینگ در نمونه‌های سفت کمتر بود که می‌تواند به دلیل رقابت زانتان با گلوتن در کشیدن آب باشد. در همین راستا، Ashwini و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که استفاده از مشتقات سلولز موجب بهبود نمرات ارزیابی بافت کیک شد.

جدول ۱۳- تجزیه واریانس برای داده‌های ارزیابی نرمی بافت (P<۰/۰۵)

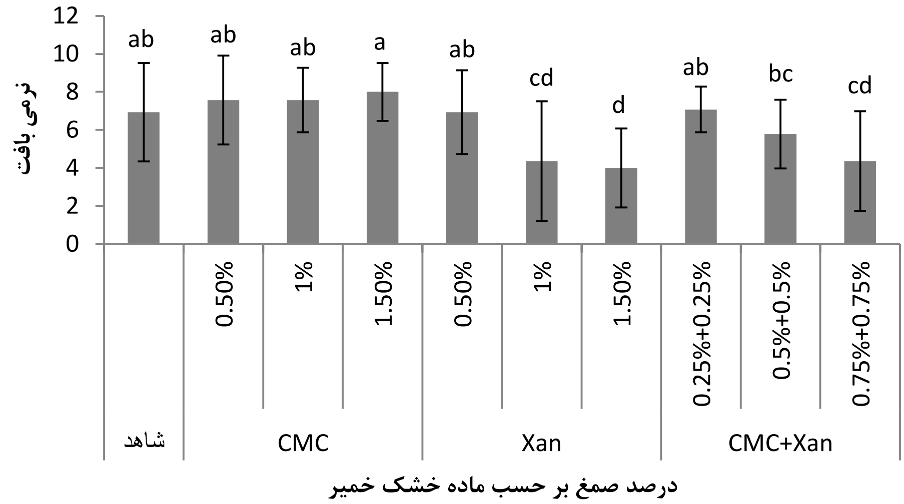
	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنی‌داری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۲۸۸/۳۱۴	۹	۳۲/۰۳۵	۶/۶۶۹	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۶۲۴/۴۲۹	۱۳۰	۴/۸۰۳		

1 Redness
2 Yellowness
3 Micro-ridges

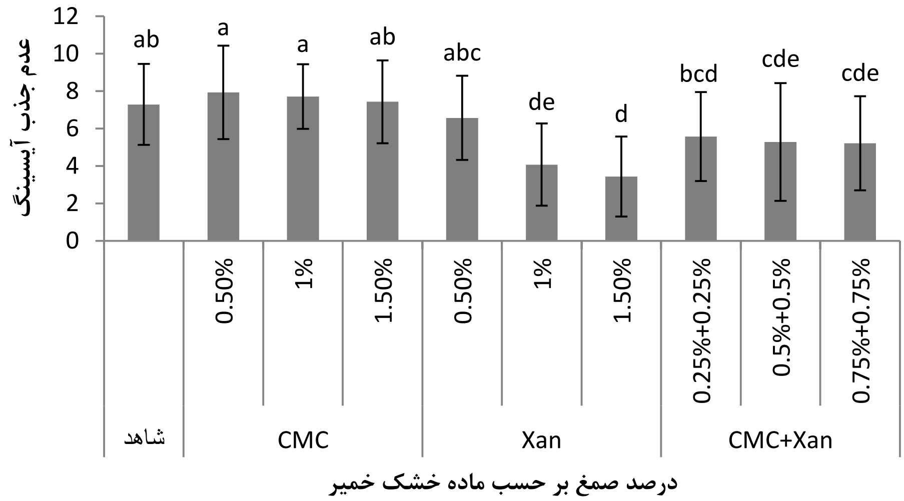
کل	۹۱۲/۷۴۳	۱۳۹			

جدول ۱۴- تجزیه واریانس برای دادههای ارزیابی عدم جذب آیسینگ (P<۰/۰۵)

	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)	F	معنیداری (sig.)
بین گروها (تیمار)	۳۱۲/۱۵۰	۹	۳۴/۶۸۳	۶/۲۹۳	۰۰۰/۰۰۰
داخل گروها (خطا)	۷۱۶/۵۰۰	۱۳۰	۵/۵۱۲		
کل	۱۰۲۸/۶۵۰	۱۳۹			



شکل ۱۷- مقایسه میانگین امتیاز نرمی بافت دونات در تیمارهای آزمون



شکل ۱۸- مقایسه میانگین امتیاز عدم جذب آیسینگ دونات در تیمارهای آزمون

همچنین Ross و Scanlon (۲۰۰۴) و Moreira و Barrufet (۱۹۹۶) بیان کردند که اگرچه بافت محصولات با میزان روغن کم میتواند سخت و نامطلوب باشد، ولی به هر حال مقدار روغن بالا برای فرآیندکنندگان، گران قیمت بوده و منجر به تولید یک محصول چرب[1] و بدون مزه نیز میشوند. درضمن، وجود درصد بالای روغن در محصول به دلیل انجام فرآیندهایی چون برگشت طعم[2] و اکسیداسیون، موجب

1 Greasy

2 Reversion

بد طعمی[1] محصول و کاهش مطلوبیت برای مصرف‌کنندگان می‌شود. بنابراین تلاش در جهت کاستن از مقدار چربی موجود در غذاهای سرخ کردنی نسبت به سایر خواص کیفی اهمیت زیادی دارد. به طور کلی پژوهشگران بیان کردند نقش ترکیبات هیدروکلوئیدی در مواد غذایی سرخ کردنی علاوه بر کاهش جذب روغن شامل حفظ شکل و پایداری محصول طی فرآیند، کاهش افت مواد جامد از سطح محصول در طی سرخ‌کردن و بهبود خصوصیات ارگانولپتیکی محصول می‌باشد. حفظ مواد فراری که برای عطر و طعم ماده غذایی مناسب می‌باشند و هم چنین بهبود ویژگی ساختاری پس از فرآیند و جلوگیری از شکنندگی و آسیب‌های فیزیکی در زمان نگهداری و حمل ونقل ماده غذایی از دیگر اهداف استفاده از این ترکیبات می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر دو نوع صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز و نسبت‌های ترکیبی آن‌ها بر خصوصیات کیفی دونات بررسی شد. با افزایش درصد صمغ‌ها همواره رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. تاثیر صمغ زانتان نسبت به صمغ کربوکسی متیل سلولز در ارتباط با کاهش جذب روغن و حفظ رطوبت در سطوح مورد آزمایش بیشتر بود. بنابراین، در مجموع استفاده از ترکیب هیدروکلوئیدی صمغ زانتان به میزان ۰/۵ درصد می‌تواند موجب کاهش جذب روغن از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش عمر مفید روغن، حفظ شکل و پایداری محصول، بهبود خصوصیات تغذیه‌ای و سلامت محصول گردد. همچنین، از طرفی استفاده از صمغ کربوکسی متیل سلولز به میزان ۰/۵ درصد به تنهایی می‌تواند موجب بهبود نرمی ارگانولپتیکی و کیفیت حسی بافت و حجم بیشتر محصول گردد. کاربرد همزمان صمغ زانتان و کربوکسی متیل سلولز رفتاری تحت تاثیر صمغ زانتان نشان داد. صمغ زانتان اثرات مطلوبی در کاهش جذب روغن داشت و با توجه به اینکه صمغ زانتان ارزان قیمت است؛ در کارهای تحقیقاتی بهبود مطلوبیت اثرات آن روی حجم محصول می‌تواند به همراه حجم‌دهنده‌ها یا سایر ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌تواند بیشتر بررسی گردد.

منابع

Akdeniz, N., Sahin, S., and Sumnu, G. (2005). Effects of different batter formulations on the quality of deep-fat-fried carrot slices. *European Food Research and Technology*, 221(1-2), 99-105.

AOAC. (1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, Unites States.

Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. (2009). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 700-707.

Bennion, E. B., and Bamford, G. S. T. (1997). The technology of cake making. Springer Science and Business Media.

Bingol, G., Zhang, A., Pan, Z., and McHugh, T. H. (2012). Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pretreatment. Food chemistry, 132(2), 686-692.

Blumenthal, M.M. (1991). A new look at the chemistry and physics of deep fat frying. *Journal of Food Technology*. 45: 68-71.

Blumenthal, M.M. (2001). A New Look at Frying Science. Cereals Foods World. 46: 352–354.

Bouchon, P. B., Aguilera, J. M., and Pyle, D. L. (2003). Structure oil absorption relationships during deep fat frying. *Journal of Food science*, 68(9), 2711-2716.

Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.

Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G., and Velasco, J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(8-9), 521-528.

Dueik, V., Robert, P., and Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3), 1143-1149.

Dueik, V., Sobukola, O., and Bouchon, P. (2014). Development of low-fat gluten and starch fried matrices with high fiber content. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 6-11.

Funami, T., Funami, M., Tawada, T., and Nakao, Y. (1999). Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of Food Science*, 64(5), 883-888.

Gamble, M. H., Rice, P., and Selman, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from cv Record UK tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22(3), 233-241.

Kante-Traore, H., Sawadogo-Lingani, H., Parkouda, C., Samadoulougou–Kafando, J. P., and Dicko, M. H. (2018). Mango doughnuts technology process for innovative prevention of post-harvest loss of mango fruits in Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 12(4), 63-72.

Kim, B. K., Chun, Y. G., Cho, A. R., and Park, D. J. (2012). Reduction in fat uptake of doughnut by microparticulated wheat bran. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 987-995.

1 Off flavor

Kohajdová, Z., and Karovičová, J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*, 63(1), 26-38.

Kohajdová, Z., Karovičová, J., and Schmidt, Š. (2009). Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. Acta Chimica Slovaca, 2(1), 46-61.

Kwinda, O., Onipe, O. O., and Jideani, A. I. (2018). The effect of oat bran and psyllium husk fibre on oil reduction and some physicochemical properties of magwinya–a deep-fried dough. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 247-254.

Lee, J. S., Kim, B. K., Kim, K. H., and Park, D. J. (2008). Preparation of low-fat uptake doughnut by dry particle coating technique. *Journal of Food Science*, 73(3), E137-E142.

Lim, S. M., Kim, J., Shim, J. Y., Imm, B. Y., Sung, M. H., and Imm, J. Y. (2012). Effect of poly-γ-glutamic acids (PGA) on oil uptake and sensory quality in doughnuts. *Food Science and Biotechnology*, 21(1), 247-252.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.

Melito, H., and Farkas, B. E. (2013). Physical properties of gluten-free donuts. Journal of Food Quality, 36(1), 32-40.

Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in food science and technology*, 14(9), 364-373.

Moreira, R. G., and Barrufet, M. A. (1996). Spatial distribution of oil after deep-fat frying of tortilla chips from a stochastic model. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 279-290.

Moreno, M. C., Brown, C. A., and Bouchon, P. (2010). Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Engineering*, 101(2), 179-186.

Nsabimana, P., Powers, J. R., Chew, B., Mattinson, S., and Baik, B. K. (2018). Effects of deep-fat frying temperature on antioxidant properties of whole wheat doughnuts. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 665-675.

Priya, R., Singhal, R. S., and Kulkarni, P. R. (1996). Carboxymethylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. *Carbohydrate Polymers*, 29(4), 333-335.

Rodge, A. B., Sonkamble, S. M., Salve, R. V., and Hashmi, S. I. (2012). Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread. *Journal of Food Process Technol*, 3(2), 133-120.

Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., and Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 487-494.

Ross, K. A., and Scanlon, M. G. (2004). A fracture mechanics analysis of the texture of fried potato crust. *Journal of food engineering*, 62(4), 417-423.

Sabbaghi, H. (2021). Production of sugar-free doughnut by replacing sugar with dietary sweeteners of stevia, erythritol and maltodextrin. *Iranian Food Science and Technology Research* Journal, 17(4), 451-472.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., and Kashaninejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Journal Food Science and Technology Research*, *14*(2), 383-397.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., and Kashaninejad, M. (2019). Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 77-89.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashaninejad,M., and Mirzaei, H. (2014). Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 1394(11), 473-484.

Sabbaghi, H., Ziaiifar, A. M., Sadeghi, A. R., Kashaninejad, M., and Mirzaei, H. (2016). Kinetic modeling of color changes in french fries during frying process. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 65-76.

Saguy, I. S., and Pinthus, E. J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. Food technology (Chicago), 49(4), 142-145.

Sahin, S., Sumnu, G., and Altunakar, B. (2005). Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2375-2379.

Sakhale, B. K., Badgujar, J. B., Pawar, V. D., and Sananse, S. L. (2011). Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 769.

Sarraf, M., Sani, A. M., and Atash, M. M. S. (2017). Physicochemical, organoleptic characteristics and image analysis of the doughnut enriched with oleaster flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13021.

Shih, F. F., Daigle, K. W., and Clawson, E. L. (2001). Development of low oil-uptake donuts. *Journal of Food Science*, 66(1), 141-144.

Suárez, R. B., Campanone, L. A., Garcia, M. A., and Zaritzky, N. E. (2008). Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84(3), 383-393.

Varela, P., & Fiszman, S. M. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1801-1812.

Vélez-Ruiz, J. F., and Sosa-Morales, M. E. (2003). Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties*, *6*(2), 341-353.

Wojdyło, A., Figiel, A., and Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1337-1343.

Ziaiifar, A. M. and Sabbaghi, H. (2018). Frying process engineering, chapter 7: oil uptake reduction in frying process. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 919-940

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۰، ص.۹۴۰ -۹۱۹

Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake

H. Sabbaghi*

Received: 2020.07.07
Accepted: 2020.11.01

Introduction: Doughnuts are fried foods that absorb significant amounts of oil, and commercial doughnuts made from wheat flour typically contain 24 to 26 percent oil. The use of additives, especially hydrocolloid compounds, in reducing the oil uptake in doughnuts is a practical method because there is no need to make changes in the industrial design of the equipment. Usually, the level of these compounds used to achieve the desired properties in food systems is less than 2% dry basis. When these compounds are added to the dough, they form a gel as soon as possible, which has a high water holding capacity in contact with hot oil, and this will be effective in maintaining and controlling the moisture content of the product and preventing oil penetration. Controlling moisture outflow from the product reduces the rate of moisture migration and compounds from the food into the frying oil, and subsequent peroxidation reactions in the oil consumed are reduced, thus increasing the useful life of the oil. Therefore, in this study, the effect of xanthan gum and carboxymethylcellulose on doughnut quality characteristics was studied.

Materials and Methods: For this purpose, in the formulation of doughnut dough, xanthan gums, carboxymethylcellulose and a combination of these two gums (50:50) were used at the rate of 0.5, 1 and 1.5 percent based on the weight of the dry matter of the dough. The doughnut dough was prepared and molded. The fermentation was carried out for 30 minutes under similar industrial conditions (40°C and 40% humidity). Then the frying process at 180°C, icing and packaging were performed, respectively. The moisture content of the dough and doughnuts, the oil uptake of doughnut, density, color and the porosity ratio of the samples were measured. Also, the qualitative characteristics of shelf life, including soft tissue assessment, non-absorption of icing and non-growth of mold were investigated within 14 days. Statistical analysis was performed in a completely randomized design ($p<0.05$).

Results and Discussion: The results showed that, the moisture content of the samples always increased with elevating the percentage of hydrocolloid compounds. Oil absorption decreased with increasing gum percentage and the lowest oil content was observed in the samples containing xanthan gum. Unlike xanthan, the density decreased and the volume increased with elevating the percentage of carboxymethylcellulose gum. Therefore, the highest porosity and softness of the tissue were found in samples containing carboxymethylcellulose. The brightness parameter (L^*) was higher in samples containing xanthan, which could be due to the higher moisture content. The red parameter (a^*) was also higher in the samples containing xanthan, which due to the higher compression of the product, a relatively more red pigment was observed with increasing xanthan level. The yellowness parameter (b^*) in xanthan-containing samples was lower due to reduced oil absorption. The intensity of the color changes (dE) decreased as the percentage of gums increased. Non-absorption of icing was less in hard sample containing xanthan, which could be due to xanthan's competition with gluten in suction of surface water. Mold growth was not observed for any treatment. Overall, the best additive ratio of xanthan gum was 0.5% in terms of reduced oil absorption. Also, the use of carboxymethylcellulose at the level of 0.5% alone could improve the softening of the product texture and made the doughnut with larger volume. Simultaneous use of xanthan gum and carboxymethylcellulose showed behavior under effect of xanthan gum.

In general, xanthan gum was more effective than carboxymethylcellulose gum in reducing oil uptake and moisture retention at test levels. Xanthan has shown the greatest reduction in oil absorption due to its thermal gelling and thickening properties, as it has a high capacity for water retention when product is in contact with hot oil. Since the xanthan gum is inexpensive, its effects on product volume can be further investigated in research work, along with bulking agents or other hydrocolloid compounds.

Keywords: Oil uptake, Doughnut, Frying, Xanthan.

1. Ph D. Graduated of Food Materials and Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
(*Corresponding Author Email: hassansabbaghi@gmail.com)